

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektroniky a informatiky**

**Katedra informatiky**

**Vytvoření optické sítě pro nácvik měření**

**Optical Network for Measurement Practising**

**2011**

**Pavel Podstawka**

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 6.5 2011

.....

Pavel Podstawka

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Janu Skapovi, Ph.D, za odborné rady, vstřícný přístup a za vedení spojené s vypracováním této práce.

Také bych rád poděkoval mé rodině, zejména mému otci Petru Podstawkovi za jeho podporu a pozitivní přístup.

## **Abstrakt**

Tato práce pojednává především o optických vláknech, které jsou pro své užitečné vlastnosti stále častěji využívány pro přenos informací. Cílem této bakalářské práce je seznámení se základními typy optických vláken a základními typy měření útlumu, ať už se jedná o přímou, či nepřímou metodu měření. Navrhoval a realizoval jsem trasy v areálu Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava.

## **Klíčová slova**

Optická vlákna; Jednovidová vlákna; Mnohovidová vlákna; Disperze; Útlum; SMSI; MMSI; MMGI.

## **Abstract**

This thesis deals primarily with optical fibers, which are useful for their properties and are increasingly used for data transmission. The aim of this thesis is the introduction the basic types of optical fibers and measuring the basic types of attenuation, both direct and indirect measurement method. I designed and implemented the route in the area of the VŠB - Technical University of Ostrava.

## **Key words**

Optical fibers; singlemode fibers; multimode fibers; dispersion; attenuation; SMSI; MMSI; MMGI.

## Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Základní pojmy .....</b>	<b>2</b>
1.1 Rychlost světla .....	2
1.2 Vlnová délka .....	2
1.3 Viditelné spektrum.....	3
1.4 Šíření světla.....	3
1.5 Index lomu .....	4
1.6 Zákon lomu světla (Snellův zákon) .....	4
1.7 Odraz a lom světla .....	5
1.8 Úplný odraz světla .....	6
1.9 Fresnelův odraz.....	7
1.10 Numerická apertura.....	7
1.11 Normalizovaná frekvence .....	8
1.12 Rayleighův rozptyl.....	8
<b>2 Optická vlákna a jejich základní rozdělení .....</b>	<b>9</b>
2.1 Výhody optických vláken .....	9
2.2 Dělení optických vláken.....	10
2.3 Mnohovidová vlákna .....	11
2.3.1 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu pláště (MMSI). 11	
2.3.2 Mnohovidová vlákna s postupnou změnou indexu lomu pláště (MMGI). 12	
2.4 Jednovidová vlákna se skokovou změnou v indexu lomu (SMSI) .....	12
<b>3 Útlum a jeho metody měření.....</b>	<b>13</b>
3.1 Útlum .....	13
3.2 Metoda dvou délek.....	14
3.3 Metoda vložných ztrát.....	15
3.3.1 Modifikace metody vložných ztrát.....	16
3.4 Metoda zpětného rozptylu.....	17
3.4.1 Mrtvá zóna .....	19
<b>4 Disperze.....</b>	<b>21</b>

4.1	Vidová disperze .....	21
4.2	Chromatická disperze.....	21
4.2.1	Materiálová disperze .....	21
4.2.2	Vlnovodná disperze.....	21
4.3	Polarizační módová disperze .....	22
<b>5</b>	<b>Návrh a realizace jednotlivých tras .....</b>	<b>23</b>
5.1	Vstupy a výstupy vrchní vany.....	24
5.2	Trasa 9 – 10.....	25
5.3	Trasa 11 – 12.....	26
5.4	Trasa 13 – 14.....	27
5.5	Trasa 15 – 16.....	28
5.6	Trasa 17 – 18.....	29
5.7	Trasa 19 – 20.....	30
5.8	Trasa 21 – 22.....	31
5.9	Trasa 23.....	32
5.10	Trasa 24.....	33
<b>6</b>	<b>Program sloužící pro otevírání souboru ve tvaru ascii pro reflektometr EXFO FTB-400 .....</b>	<b>39</b>
6.1	Grafické uživatelské rozhraní programu .....	39
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Použité literární zdroje.....</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam obrázku .....</b>	<b>43</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>45</b>

## Úvod

Optika patří k nejstarším oborům fyziky, která zkoumá vlastnosti světelných jevů. Tyto jevy vznikají při šíření světla, popřípadě vzájemném působení světla a látky. Kvůli správnému pochopení se v optice zavedly jisté pojmy, bez kterých není možné tuto látku dost dobře pochopit, a proto se v první kapitole věnuji základním pojmům.

Tato bakalářská práce pojednává především o optických vláknech, které se využívají pro komunikaci a jsou pro své kladné vlastnosti využívány čím dál více. Jelikož je téma optických vláken velmi rozsáhlé, zaměřuje se tato práce především na základní dělení a vlastnosti optických vláken, dále na postupy měření útlumu pomocí různých metod jako například metoda vložných ztrát, metod dvou délek a metoda zpětného rozptylu.

Aby se mohlo měření přiblížit co nejvíce reálným situacím, je v této práci obsažen návrh jednotlivých tras, které byly vybudovány v areálu Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava v učebně Krp203. Těchto navržených tras je celkem osm a mají za úkol studenty seznámit s měřením, se kterým se můžou setkat v praxi.

Jednotlivá měření tras jsou zpracována ve vzorových protokolech.

Poslední část je věnována programu, který slouží pro otevírání výstupních souborů optického reflektometru EXFO FTB-400, a následné zobrazení výstupních hodnot do grafu.

# 1 Základní pojmy

Pro pochopení principu putování signálu optickým vláknem, různé druhy útlumu a disperzí, je důležité znát základní pojmy, bez kterých se v optice neobejdeme.

## 1.1 Rychlost světla

Světlo je elektromagnetické vlnění a má tedy svou rychlost. Rychlost světla ve vakuu je největší hodnota, jaké mohou hmotné objekty dosáhnout. Rychlost světla ve vakuu značíme malým písmenem  $c$  a je to konstanta, která má hodnotu:[4]

$$c = 299\,792\,458\,m \cdot s^{-1} \quad (1.0)$$

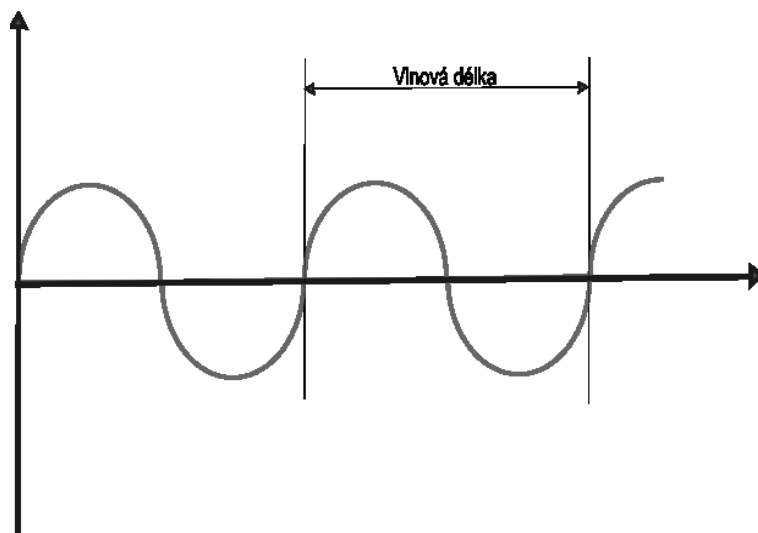
V praxi se s rychlostí světla počítá pouze se zaokrouhlenou hodnotou pro jednoduchost výpočtu a tedy:

$$c = 3 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1} \quad (1.1)$$

Ve vzduchu je rychlost světla jen nepatrně menší než ve vakuu. Ve vodě je rychlost světla podstatně menší a to okolo  $225\,000\,km \cdot s^{-1}$ . [4]

## 1.2 Vlnová délka

Vlnová délka je vzdálenost, za kterou se rozšířilo vlnění v době jedné periody (viz obr. 1)



Obr. 1 Grafické znázornění vlnové délky



Vlnová délka je dána vztahem[5]:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (1.2)$$

$c$  ... rychlost šíření světla [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$f$  ... frekvence [Hz]

$T$  ... perioda [s]

Jelikož se rychlost světla v látkách mění, mění se i jeho vlnová délka, avšak frekvence zůstává stejná. Frekvence světla se tedy při průchodu libovolným látkovým prostředím nemění. [5]

### 1.3 Viditelné spektrum

Viditelné spektrum je takový proces, jenž v lidském oku vyvolává elektromagnetické záření o frekvencích v rozsahu  $7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  až  $3,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . Vlnová délka viditelného spektra se vypočítá ze vztahu 1.2 a tedy[4]:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} = = \frac{3 \cdot 10^8}{7,7 \cdot 10^{14}} \cong 3,90 \cdot 10^{-7} \cong 390 \text{ nm}$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} = = \frac{3 \cdot 10^8}{3,9 \cdot 10^{14}} \cong 7,60 \cdot 10^{-7} \cong 760 \text{ nm}$$

Z toho tedy vyplývá, že viditelnému spektru odpovídají vlnové délky v rozmezí  $390 \text{ nm} - 760 \text{ nm}$ .

Lidské oko vnímá různé vlnové délky jako různé barvy. Vlnové délce okolo  $390 \text{ nm}$  odpovídá barva fialová a pro vlnovou délku okolo  $760 \text{ nm}$  je to barva červená. Oko je nejcitlivější na vlnovou délku okolo  $550 \text{ nm}$ , což je barva žlutozelená.[4]

### 1.4 Šíření světla

Šíření světla je závislé na prostředí, kterým světlo prochází. Pokud světlo dopadne například na čiré sklo, téměř beze změny projde skrz tímto sklem.

Pokud světlo prochází barevným sklem, část vlnových délek je vyfiltrována. Dochází k jevu, při kterém jsou některé vlnové délky světla pohlceny a který nazýváme **absorpce světla**.

Matné sklo mění směr světla, což znamená, že při pohledu do matného skla je nemožné s přesností zjistit, kde se nachází zdroj záření. Tento jev se nazývá **rozptyl světla**.

Optické prostředí tedy může být:

- Průhledné – nedochází k rozptylu světla
- Průsvitné – světlo částečně prochází, ale částečně také dochází k rozptylu
- Neprůhledné – takovéto prostředí světlo buď pohlcuje, nebo se na rozhraní s jiným prostředím odráží [4]

## 1.5 Index lomu

Index lomu, který značíme  $n$  je bezrozměrná veličina definována jako podíl rychlosti světla ve vakuu ( $c$ ) vzhledem k rychlosti světla v daném prostředí ( $v$ ) Je tedy dána vztahem[5]:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.3)$$

Index lomu ve vakuu je roven jedné a ve všech ostatních prostředích je větší než jedna. Je také závislý na vlnové délce světla.[5]

## 1.6 Zákon lomu světla (Snellův zákon)

Zákon lomu světla byl objeven v 17. století. Objevil jej Holanďan W. Snell, proto je tento zákon někdy nazýván Snellův zákon.

Tento zákon lomu je dán vztahem [4]:

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta) \quad (1.4)$$

$n_1$  ... index lomu prostředí dopadu

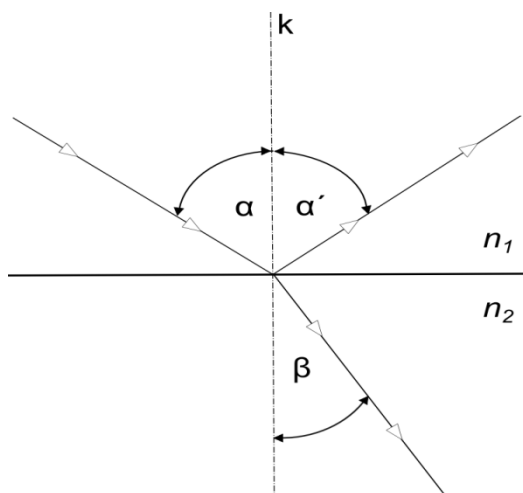
$n_2$  ... index lomu prostředí odrazu

$\alpha$  ... úhel dopadu

$\beta$  ... úhel odrazu

## 1.7 Odraz a lom světla

Jestliže dopadne světelný paprsek na rozhraní dvou optických prostředí, které mají různé indexy lomu, pak část světla tímto prostředím projde a část se odrazí (viz obr. 2). V tomto případě dochází k **odrazu** i **lomu** světla.[5]



Obr. 2 Odraz a lom[5]

Popis:

Světelný paprsek dopadá na rozhraní mezi  $n_1$  a  $n_2$  pod úhlem dopadu  $\alpha$ .

Rovina dopadu je místo, kde leží kolmice dopadu a protíná dopadající paprsek.

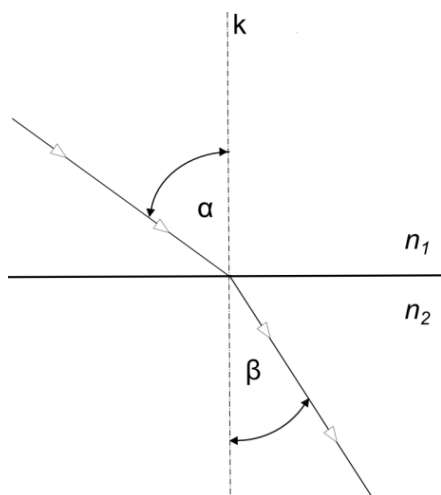
V tomto případě mohou nastat tyto situace:

1. Pro úhel dopadu a úhel odrazu platí zákon odrazu a to takový, že úhel odrazu je roven úhlu dopadu ( $\alpha = \alpha'$ )
2. Lomený paprsek přechází do druhého prostředí pod úhlem lomu  $\beta$ . V tomto případě lze úhel dopadu vypočítat z rovnice 1.4. Při lomu paprsku mohou nastat dvě různé situace v závislosti na indexu lomu prostředí:[5]

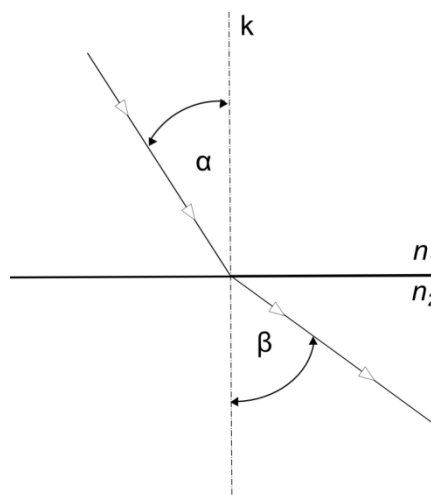
A. Světlo se šíří z  $n_1$  prostředí, které má menší index lomu než prostředí  $n_2$ , které má index lomu větší. To znamená, že světlo se šíří z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího. Podle Snellova zákona

je úhel lomu  $\beta$  menší, než úhel dopadu  $\alpha$  a tak nastává **lom ke kolmici** (obrázek číslo 3).[5]

B. Světlo se šíří z  $n_1$  prostředí, které má větší index lomu než prostředí  $n_2$ , které má index lomu menší. To znamená, že světlo se šíří z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Podle Snellova zákona je úhel lomu  $\beta$  větší, než úhel dopadu  $\alpha$  a tak nastává **lom od kolmice** (obrázek číslo 4).[5]



Obr. 3 Lom ke kolmici [5]



Obr. 4 Lom od kolmice [5]

## 1.8 Úplný odraz světla

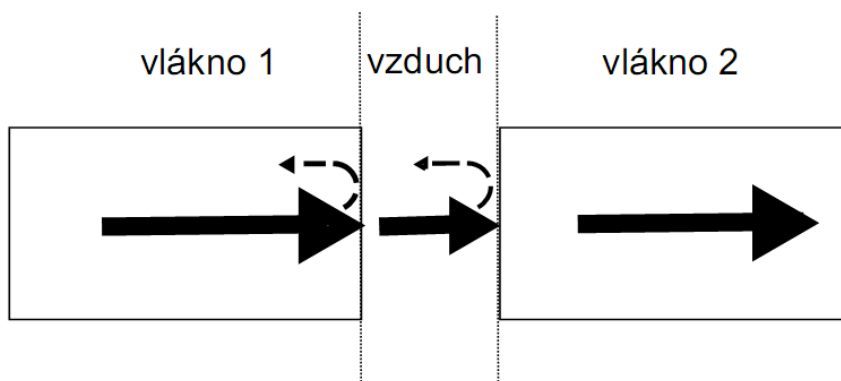
Pro tento odraz platí, že  $n_1 > n_2$  a tedy při dopadu světla na rozhraní dochází k lomu od kolmice, jak je možné vidět na obrázku číslo 4. Pokud by se postupně zvětšoval úhel  $\alpha$ , nastane situace, kdy se bude úhel  $\beta$  rovnat  $90^\circ$ . To znamená, že paprsek se bude šířit na rozhraní obou prostředí. Tento úhel se nazývá mezní úhel a značíme jej  $\alpha_m$ . [5]

U všech paprsků, které dopadají na rozhraní z prostředí opticky hustšího pod úhlem větším, než je úhel mezní, dochází k úplnému odrazu.

Tento úhel je důležitý především v optických vláknech, jelikož vlákna musí splňovat podmínku úplného odrazu, aby vidy putující optickým vláknem nebyly vyvedeny ven a nedošlo ke ztrátě informací. [5]

## 1.9 Fresnelův odraz

Tento odraz lze popsat na jednoduchém příkladě. Při pohledu na čisté okno lze vidět dva obrazy. První obraz, který lze vidět je skrze okno. Druhý obraz, který je také vidět, ale mnohem slaběji zobrazuje odraz toho, co je za námi. To proto, že větší část světla projde, ale malá část se od povrchu okna odrazí zpět. Stejně je tomu i při průchodu světla optickým vláknem, kdy velká část světla projde a malá část se odrazí zpět, jak je možné vidět na obrázku číslo 5.



Obr. 5 Fresnelův odraz[3]

## 1.10 Numerická apertura

Numerická apertura je bezrozměrná veličina, která se značí NA.

Numerická apertura je historicky spojena s difrakčním vztahem [1]:

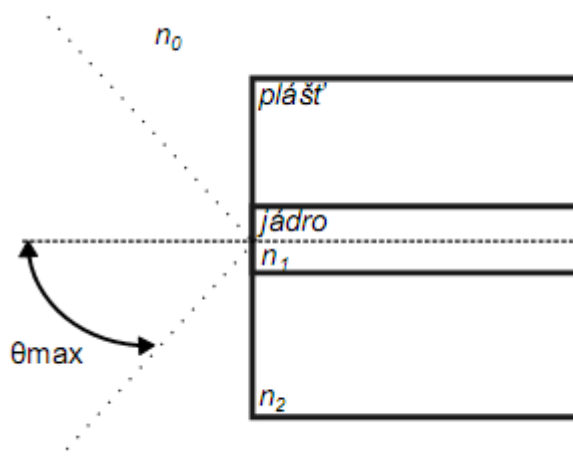
$$NA_t = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sin \theta_{max} \quad (1.6)$$

$NA_t$  ... teoretická numerická apertura.

$n_1$  ... index lomu jádra

$n_2$  ... index lomu pláště

Tento vztah byl původně zaveden pro vlákna se skokovým profilem indexu lomu a představuje sinus maximálního úhlu, pod kterým mohou být do čela vlákna navázány meridionální paprsky.  $\theta_{max}$  je znázorněn na obrázku číslo 6.[1]



obr. 6 Numerická apertura

### 1.11 Normalizovaná frekvence

Normalizovaná frekvence se značí písmenem  $V$  a je dána vztahem:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} \quad (1.7)$$

$d$  ... průměr jádra

$NA$  ... numerická apertura

$\lambda$  ... vlnová délka.

Jak jde vidět podle vzorce 1.7, normalizovaná frekvence udává materiálové vlastnosti ( $NA$ ), rozměr jádra optického vlákna ( $d$ ) a vlnovou délku ( $\lambda$ ).

Aby se vláknem šířil pouze jeden vid, musí být normalizovaná frekvence menší, nebo rovna číslu 2.405.

### 1.12 Rayleighův rozptyl

Tento jev vzniká tepelnými kmity krystalické mřížky a nedá se odstranit, pouze jej lze částečně omezit posunem pracovní frekvence do infračervené oblasti. Vznik rozptylu je v důsledku malých náhodných nehomogenit atomové struktury vztažené k vlnové délce světla. Tento rozptyl je všesměrový a dá se popsat koeficientem: [3]

$$\gamma = \frac{8 \cdot \pi^2}{3 \cdot \lambda^4} \cdot n^8 \cdot p^2 \cdot \beta_c \cdot kT_f \quad (1.8)$$

Kde  $p$  ... fotoelastický koeficient.

$\beta_c$  ... isotermální stlačitelnost při  $T_f$

$\lambda$  ... vlnová délka

$n$  ... index lomu.

## **2 Optická vlákna a jejich základní rozdělení**

### **2.1 Výhody optických vláken**

Optických prostředí pro přenos informací může být celá řada. Nejčastěji to bývá právě optické vlákno, které se využívá v praxi. To proto, že má řadu výhod oproti jiným prostředím umožňujícím přenos světla. [6]

Před nástupem optických vláken se pro komunikaci používali a dodnes ještě používají metalické vedení. Tato vedení jsou postupně nahrazována optickou komunikací pro její hlavní výhody.

#### **Výhody optických vláken**

- Malé rozměry a hmotnost
- Nadměrně velká šířka pásma
- Větší přenosové rychlosti
- Odolnost proti elektromagnetickému rušení a přeslechům
- Bezpečnější přenos
- Spolehlivost
- Nízké ztráty při přenosu

#### **Nevýhody optických vláken**

- Náročnost na čistotu
- Cena jednotlivých přístrojů
- Makro a mikro ohyby
- Náročná výroba

## 2.2 Dělení optických vláken

Optická vlákna lze rozdělit na dva základní typy, které určují jejich přenosové vlastnosti. Jsou to vlákna jednovidová a mnohovidová. Každý typ těchto vláken pak lze rozdělit na podskupiny:

- Jednovidová vlákna (**SingleMode** – zkratka SM)
  - Se skokovou změnou indexu lomu (**Step Index** - SI)
- Mnohovidová vlákna (**MultiMode** – zkratka MM)
  - Se skokovou změnou indexu lomu (**Step Index** - SI)
  - S postupnou změnou indexu lomu (**Gradient Index** - GI)

Hlavní rozdíl mezi jednovidovými a mnohovidovými vlákny je především v počtu vidu, které se vláknem šíří. U mnohovidových vláken je počet vidu několik stovek až tisíců, zatímco u jednovidového vlákna se šíří pouze jeden vid. Podmínku, aby se vláknem šířil pouze jeden vid udává normalizovaná frekvencí značená  $V$ , o které se zmiňují kapitole 1.11 [6]

Díky této podmínce se jednovidová vlákna liší od mnohovidových v průměru jádra, numerické apertuře a vlnové délce zdroje světla.

### Průměr jádra

- Jednovidová vlákna mají zpravidla průměry jádra v rozmezí 4 – 10 mikrometrů, kdežto u většiny mnohovidových vláken je tato hodnota okolo 50 – 62,5 mikrometrů.

### Numerická apertura

- Zde se vychází ze vztahu 1.6, který definuje numerickou aperturu, která je rovna druhé odmocnině rozdílu druhých mocnin indexu lomu jádra a pláště. Aby došlo ke snížení této hodnoty, musí se index lomu jádra a pláště ještě více blížit ke stejné hodnotě (nikoliv se ji rovnat), aby byla splněna podmínka pro jednovidová vlákna.



## Vlnová délka

- U mnohovidových vláken se standardně používá vlnová délka 850nm a 1300nm. Přenos informací u jednovidových vláken probíhá nejčastěji na vlnových délkách 1310 nm, 1550 nm, či 1625 nm.

## 2.3 Mnohovidová vlákna

Mnohovidová vlákna jsou historicky nejstarší typ vláken, která se začaly vyrábět. Jsou technologicky méně náročné na výrobu, než výroba jednovidových vláken. Důležitá podmínka, která musí platit je, že index lomu jádra musí být větší, než index lomu pláště.

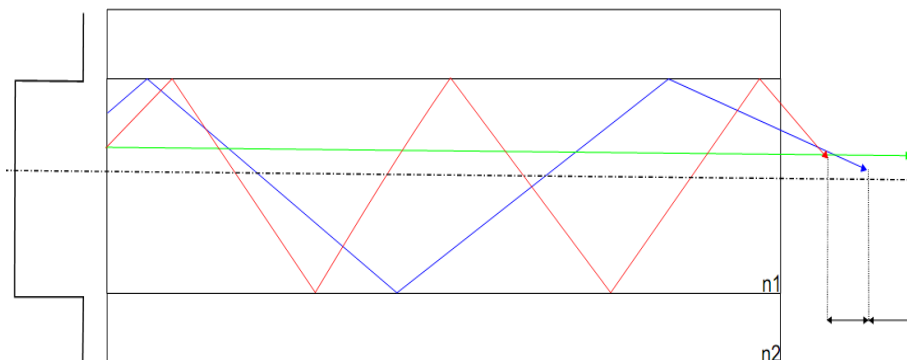
Tato vlákna jsou používána spíše na kratší vzdálenosti a nedosahují takových přenosových rychlostí jako vlákna jednovidová. Mnohovidová vlákna dělíme do dvou základních slupin podle typu indexu lomu pláště.

### 2.3.1 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu pláště (MMSI)

V tomto typu vlákna se většina vidů šíří pomocí totálního odrazu, což je způsobeno skokovou změnou indexu lomu pláště. MMSI vlákna mají následující vlastnosti:

- Velmi náchylné na disperzi (především vlnovou)
- Vysoký útlum
- Malá přenosová kapacita
- Nenáročná výroba oproti ostatním typům vláken

Na obrázku číslo 7 je znázorněný profil jádra a pláště optického vlákna, který znázorňuje průběh průchodu vidu ve vlákne MMSI.

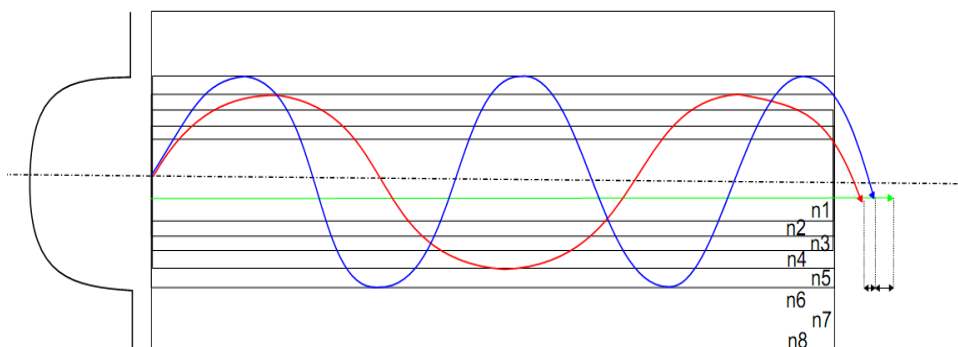


Obr. 7 Příklad putování signálu MMSI vláknem

Jak je již z obrázku číslo 7 patrné, každý vid se šíří jinou dráhou a proto se každý vid na konec trasy dostane v jiný časový okamžik. Z tohoto důvodu je vlákno velmi citlivé na vidovou disperzi, která je posána v kapitole 4.1.

### 2.3.2 Mnohovidová vlákna s postupnou změnou indexu lomu pláště (MMGI)

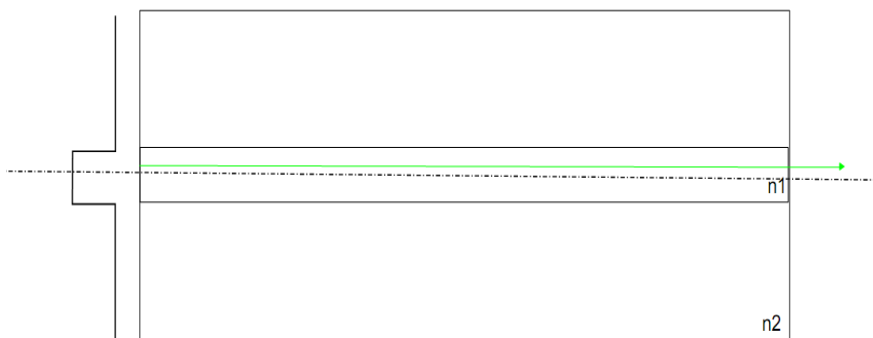
Tyto vlákna se vyznačují gradientní změnou indexu lomu pláště, což znamená, že MMGI vlákna mají více než dvě prostředí. Tyto vlákna nemají skokovou změnu na rozhraní jádra a pláště, ale tato změna je postupná. Proto se v MMGI vláknech vidy nešíří pomocí totálního odrazu, jak je to u vláken MMSI, ale díky ohybu světla, tedy postupnou změnou indexu lomu. Aby byl omezen vliv vidové disperze, je nutné, aby vidy šířící se jádrem putovali s menší rychlostí (šíří se opticky hustším prostředím), protože mají kratší dráhu. Vidy putující pláštěm mají tuto dráhu delší, a tak se musí šířit větší rychlostí (šíří se opticky řidším prostředím), aby došlo k částečné synchronizaci jednotlivých vidů. Příklad putování signálu v MMGI vláknech je uveden na obrázku číslo 8.



Obr. 8 Příklad putování signálu v MMGI vláknech

### 2.4 Jednovidová vlákna se skokovou změnou v indexu lomu (SMSI)

Tyto vlákna vykazují nejlepší parametry, proto jsou používána pro páteřní sítě. Už podle názvu je patrné, že tímto vláknem se v jeden časový okamžik šíří pouze jeden vid, což úplně eliminuje vidovou disperzi. Příklad putování signálu v jednovidovém vlákně je znázorněn na obrázku 9. V SMSI vláknech se šíří energie v plášti až ze 40 %.



Obr. 9 Příklad putování signálu v SMSI vlákne

SMSI vlákna jsou mnohem více využívána, než vlákna mnohovidová.

Výhody jednovidových vláken oproti vláknům mnohovidovým

- Větší přenosové rychlosti
- Větší dosah
- Eliminace vidové disperze
- V dnešní době i cena

Nevýhody jednovidových vláken oproti vláknům mnohovidovým

- Daleko větší nároky na výrobu
- Větší náchylnost na ohyby
- Náročnější spojování vláken

### 3 Útlum a jeho metody měření

#### 3.1 Útlum

Útlum je měřítkem celkových ztrát na trase, jelikož se signál při průchodu trasy tlumí. Útlum bezesporu ovlivňuje kvalitu přenosu a je jedním z nejdůležitějších parametrů optické trasy. Útlum je nejčastěji udáván v decibelech (dB), který je definován vztahem:[1,2]

$$A = 10 \cdot \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \text{ [dB]} \quad (3.1)$$

kde  $P_1$  je optický výkon změřený na začátku trasy a  $P_2$  je optický výkon změřený na konci trasy. Oba tyto výkony jsou měřeny ve Witech. Další vztah slouží pro výpočet **koeficient útlumu** značený  $a$  (též zvaný jako měrný útlum), což je útlum vztažený na jednotkovou délku vlákna. Je definován vztahem:[1,2]

$$a = \frac{A}{L} \left[ \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] \quad (3.2)$$

kde  $L$  je délka vlákna udávána v kilometrech.

Pokud měřič výkonu měří absolutní úroveň optického výkonu v jednotkách dBm, pak se útlum vypočte ze vztahu:[2]

$$A = L_1 - L_2 \text{ [dB]} \quad (3.3)$$

Kde  $L_1$  a  $L_2$  jsou absolutní úrovně výkonu. Tyto úrovně jsou měřeny v decibelech absolutních (dBm) a platí pro ně vztahy:[2]

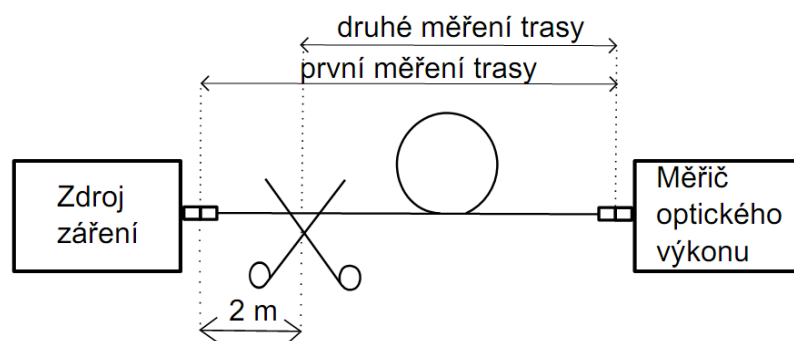
$$L_1 = 10 \cdot \log \frac{P_1}{1\text{mW}} \text{ [dBm]} \quad (3.4)$$

$$L_2 = 10 \cdot \log \frac{P_2}{1\text{mW}} \text{ [dBm]} \quad (3.5)$$

Pro měření útlumu optických vláken jsou doporučovány tři standardní metody měření. Metoda dvou délek, metoda vložných ztrát a metoda měření zpětného rozptylu. První dvě metody používají pro měření útlumu zdroj záření a měřič optického výkonu, proto jsou označovány jako transmisní, nebo přímé. Poslední metoda pracuje na bázi měření zpětného rozptylu pomocí optického reflektometru a bývá označována jako metoda optické reflektometrie v oblasti času. O každé z těchto metod se zabýváme níže.[1,2]

### 3.2 Metoda dvou délek

Tato metoda se vyznačuje nejpřesnějším měřením útlumu optických vláken a je doporučována jako referenční metoda. Jedná se o metodu destruktivní, což znamená, že je nutné při tomto měření zalomit měřené vlákno, a proto nemůže být použita pro měření již provozovaných optických tras. Postup měření je patrný z obrázku číslo 10. Po navázání optického zařízení do měřeného vlákna o určité délce změní měřič optického výkonu výkon na výstupu. Poté se ve vzdálenosti  $2\text{m} \pm 0,2\text{m}$  od počátku vlákna zalomí a upraví tak, aby na něm bylo možno znovu měřit výkon. Poté se vypočítá útlum. [1,2]

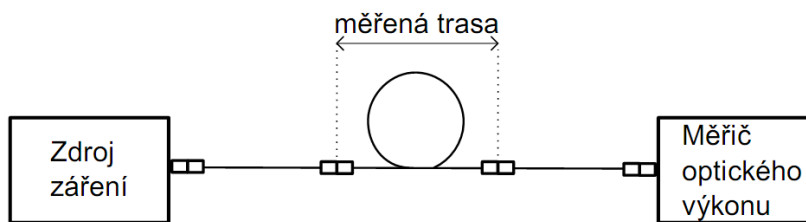


Obr. 10 Měření metody dvou délek [2]

### 3.3 Metoda vložných ztrát

Taktéž se jedná o metodu transmisní, avšak nedestruktivní, což je její velkou výhodou. Měření útlumu touto metodou je většinou dvoustupňové. Nejprve se musí změřit referenční hodnota a až poté se měří trasa. Metoda vložných ztrát je využívána především pro měření optických vláken a kabelů, spojovacích modulů, kdy není možné lámat či zkracovat měřené vlákno. Tato metoda však není tak přesná, jako je metoda dvou délek a to proto, že vazební ztráty při připojení referenčního a měřeného vlákna ke zdroji záření není stejná. Tyto rozdíly se dají z části eliminovat tak, že se i pro referenční měření použije stejný typ vlákna, jaký je v měřené trase.[1,2]

Postup měření metody vložných ztrát je následující. Nejprve se propojí zdroj záření s měřičem optického výkonu. Tímto krokem dostaneme referenční hodnotu. Možnosti nastavení referencí je více druhů a jsou vysvětleny v kapitole 3.3.1. Po změření reference se vazby rozpojí a zapojí se do měřené trasy dle obrázku číslo 11. Odečtením referenční hodnoty od hodnoty celkové dostáváme výsledek, z něhož můžeme vypočíst útlum.



Obr. 11 Měření trasy pomocí metody vložných ztrát [2]

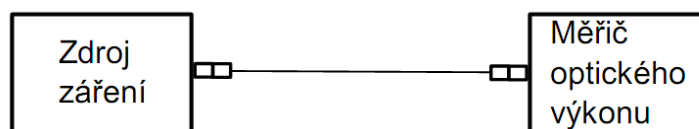
Dnes již moderní soupravy pro automatické měření útlumu mohou být čtyřstupňové, což znamená, že oba tyto přístroje jsou jak zdroje optického záření, tak měřiče optického výkonu. Nejprve se nastaví první přístroj jako zdroj optického záření a druhý přístroj se nastaví jako měřič optického výkonu. Po změření trasy si přístroje vymění role a měří

se z druhé strany trasy. Tato moderní zařízení především šetří časovou dobu na proměření jednoho vlákna, což je v dnešní době kvůli počtu vláken obrovskou výhodou. [2]

### 3.3.1 Modifikace metody vložných ztrát

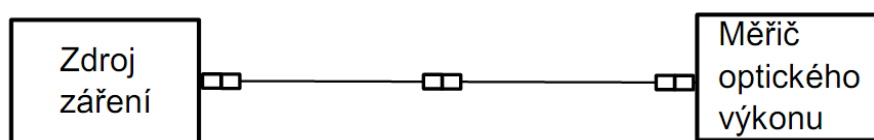
Oproti metodě dvou délek je metoda vložných ztrát poněkud volnější a dovoluje technickému pracovníkovi jistou možnost ve způsobu nastavení reference. Výsledná trasa se samozřejmě měří vždy dle obrázku číslo 11.

Celkem rozlišujeme tři modifikace metod vložných ztrát a každá z nich poskytuje různé výsledky na stejné trase. Je to metoda s jedním měřicím spojovacím modulem, která se nazývá metoda A1. Nastavení reference této metody je znázorněna na obrázku číslo 12. Tato metoda obsahuje výsledek měření útlumu trasy spolu s vložným útlumem obou optických konektorů.[2]



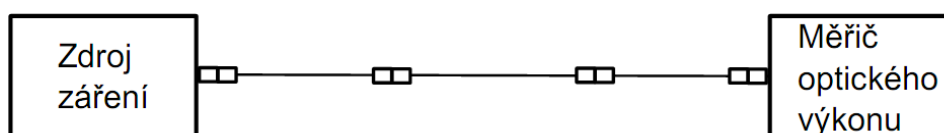
Obr. 12 Nastavení reference A1[2]

Druhá referenční metoda je se dvěma měřicími spojovacími moduly, jež nazýváme metoda A2, kterou můžeme vidět na obrázku číslo 13. Při použití této varianty metody obsahuje výsledek měření útlum trasy a vložný útlum jednoho optického konektoru. [2]



Obr. 13 Nastavení reference A2[2]

Třetí a poslední modifikace metody vložných ztrát je metoda se třemi měřicími spojovacími moduly, kterou nazýváme metoda A3, jež můžeme vidět na obrázku číslo 14. V tomto případě je výsledek měření pouze útlum trasy. [2]



Obr. 14 Nastavení reference A3 [2]

Reálné měření metody vložných ztrát je vysvětleno v příloze C.

### **3.4 Metoda zpětného rozptylu**

Třetí standardní metodou je metoda zpětného rozptylu. Tato metoda využívá měřič zpětného rozptylu neboli optický reflektometr. Zkratka pro optický reflektometr je OTDR, což znamená v překladu optická reflektometrie v časové oblasti (Optical Time-Domain Reflectometry). Tato technologie je postavena na Rayleighovém rozptylu a Fresnelovu odrazu, které jsou uvedeny v kapitole 1.9 a 1.12[1,2]

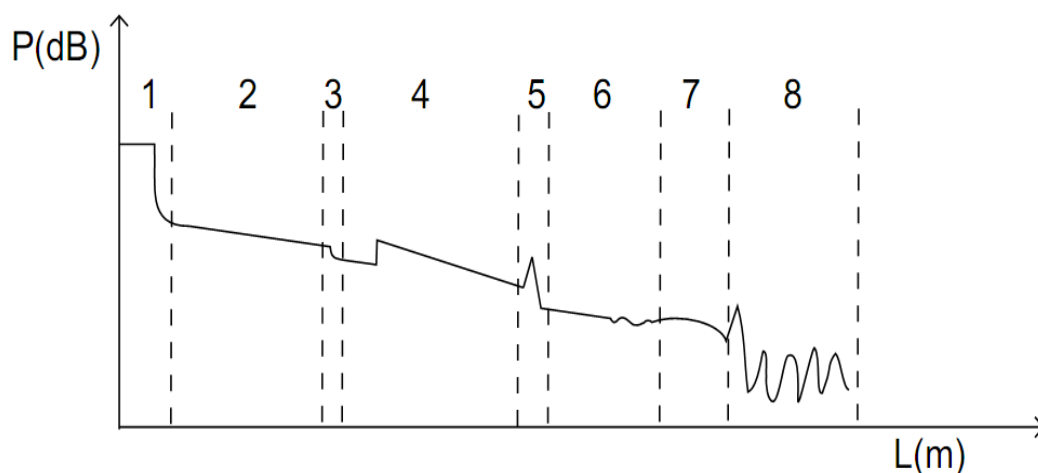
Metoda zpětného rozptylu je založena na poněkud složitějším principu, než na jakém jsou založeny transmisní metody, jelikož vyhodnocuje v určité časové závislosti zpětný rozptýlený optický výkon při šíření optického pulsu měřeným vláknem. Zpětný rozptyl je závislý na materiálových vlastnostech (čistota, homogenita jádra), dále na optických vlastnostech (homogenita indexu lomu jádra) a na parametrech měřicího impulsu.

Jako zdroj záření se nejčastěji využívá polovodičový laser s generovanou frekvencí řádově několik kHz, který vysílá optické impulsy s pološírkou desítek až stovek nanosekund. Čím větší puls laser vyšle, tím je možno změřit delší úsek trasy, avšak za cenu větší mrtvé zóny, která je vysvětlená v kapitole 3.4.1.

Po vyslání optického pulsu jsou tyto pulsy navázány do optického vlákna. Při průchodu vláknem se část energie odrazí zpět. Zpětně rozptýlené záření, které opouští vlákno je tím samým děličem vedeno k fotodetektoru. Po zesílení a další úpravě signálu je zpětný rozptyl zobrazen na obrazovce.[1,2]

Měření pomocí metody zpětného rozptylu (tedy nepřímá metoda) nám poskytuje celou škálu výhod oproti metodám transmisním. První a bezesporu největší výhodou je grafický výstup trasy, jelikož metoda zpětného rozptylu může přirovnat ke scanneru, který nám zobrazí detailní vlastnosti trasy. Díky této výhodě lze vidět, v jaké vzdálenosti je na trase například svar či spojka, popřípadě konektorové spojení, nebo různé chyby na trase jako přerušené, či deformované vlákno či špinavé konektorové spojení. Tyto a plno dalších chyb způsobují zbytečně velký útlum na trase a jsou samozřejmě nežádoucí. Z těchto důvodů je metoda zpětného rozptylu nenahraditelná. [1,2]

Na obrázku číslo 15 je výstup měření pomocí metody zpětného rozptylu, který je vysvětleno níže.[1]



Obr. 15 Popis grafického výstupu metody zpětného rozptylu [1]

#### Průběh číslo 1

- Tento průběh se na OTDR přístroji objeví vždy, jelikož jde o mrtvou zónu a tu nelze zcela eliminovat. V tomto úseku také není možné správně vyhodnotit útlum.[1]

#### Průběh číslo 2

- Průběh číslo 2 má konstantní typ průběhu nastává vždy, když impuls prochází podélně homogenním vláknem, přičemž vlákno samotné má konstantní hodnotu koeficientu útlumu.[1]

#### Průběh číslo 3

- Na tomto průběhu je vidět lokální pokles výkonové úrovně, který je nejčastěji způsoben optickým svarem dvou vláken, nebo bodovým tlakem na vlákne. Ojediněle může tento průběh znamenat také defekt ve struktuře vlákna.[1]

#### Průběh číslo 4

- Na tomto úseku je vidět zdánlivé zesílení, což znamená, že je tato oblast s větším průměrem módového pole (MFD) [3]



### **Průběh číslo 5**

- V tomto místě je vidět nárůst výkonové úrovně a následný úpadek. Tento zdánlivý nárůst je způsoben Fresnelovým odrazem, který je nejčastěji způsoben konektorovým spojením, popřípadě různými defekty vlákna. [1]

### **Průběh číslo 6**

- V této oblasti dochází ke zvlnění, které je způsobeno zejména měřicím přístrojem, nebo náhodným kolísáním vlnové struktury.[1]

### **Průběh číslo 7**

- Sklon křivky nemusí být vždy lineární, ale může se různě měnit. V některých případech může dojít k plynulému ohybu křivky. Tento jev způsobují dva typy faktorů. Vnitřní faktory jsou například měnící se útlum, numerická apertura, nebo měnící se průměr jádra vlákna. Vnější faktor, který způsobuje tento průběh je například nerovnoměrné navinutí kabelu na cívku. [1]

### **Průběh číslo 8**

- Poslední úsek, který se v měření vyskytne je Fresnelův odraz od konce celé měřené trasy. Za tímto odrazem už následuje pouze úroveň šumu.[1]

Reálné měření metody zpětného rozptylu je vysvětleno v příloze D.

#### **3.4.1 Mrtvá zóna**

Při navazování optických impulsů do vlákna dochází zároveň k Fresnelovu odrazu, jenž se odrazí zpátky a poté putuje přes optický dělič k citlivé fotodiodě. Koeficient Fresnelova odrazu při kolmém odrazu od čela optického vlákna je 0,04W. Výkon odraženého optického záření převyšuje výkon záření rozptýleného a dochází k přehlcení fotodetektoru a chybnému vyhodnocení útlumu trasy. Mnohé technologie se snaží omezit tento nežádoucí jev, avšak první Fresnelův odraz nemůže být nikdy odstraněn bezezbytku. Správné měření útlumu optické trasy metoda zpětného rozptylu umožňuje až po překlenutí určité vzdálenosti od začátku optického vlákna. Tato vzdálenost

je nazývána mrtvá zóna. Mrtvá zóna vzniká o vzdálenosti zpravidla jednotek až desítek metrů a je to jeden z parametrů, který je u OTDR přístrojů udáván. [1]

Eliminovat tento nežádoucí jev je možné použitím předřadného vlákna, které slouží pro zachycení této mrtvé zóny, ovšem za cenu větší délky měřené trasy. Tato délka není striktně stanovena. Délka předřadného vlákna je však závislá na šířce pulsu, proto se doporučuje, aby na šířku pulsu o jedné desetíně nanosekundy byla délka předřadného vlákna nejméně jeden metr. To znamená, že při použití pulsu 1000ns by měla délka předřadného vlákna být větší než 100 metrů. [1]

Pojmem mrtvá zóna se také označuje další odrazná porucha, jež může v metodě zpětného odrazu dojít. Tato porucha je způsobena prvním Fresnelovým odrazem od konektorů či mechanických spojů a dalšími nehomogenitami, které se na trase mohou vyskytnout. V těchto případech se jedná o minimální vzdálenost, na které lze detekovat další odraznou poruchu a změřit její útlum. Pokud je vzdálenost poruchy menší, než je vzdálenost mrtvé zóny, pak OTDR přístroj tuto chybu přehlédne a nevyhodnotí. [1]

Mrtvá zóna je závislá na šířce vyslaného optického pulsu a je také hlavním důvodem, proč se metoda zpětného rozptylu měří z obou stran trasy.

## 4 Disperze

Při putování optického signálu skrze optické vlákno se signál nejen tlumí, ale dochází v něm k vlivu zvanému disperze, který způsobuje zkreslení daného signálu a omezení šířky pásma. V praxi je to právě disperze, která nejvíce limituje přenosové rychlosti trasy. Disperzi způsobuje řada příčin a z tohoto důvodu ji dělíme na více druhů. [1,3]

### 4.1 Vidová disperze

Vidová disperze vzniká v důsledku, že se optickým vláknem šíří více vidů najednou a každý vid má rozdílnou dráhu šíření. To znamená, že každý vid dorazí na konec trasy v různý časový okamžik. V takovém případě dochází k rozšiřování optických pulsů. Problém nastává, pokud se časové mezery mezi jednotlivými vidy zkrátí natolik, že fotodetektor není schopen správně vyhodnotit konečné pulsy. Tomuto případu se také říká mezisymbolová interference. Tento případ je nepřijatelný, jelikož by se smísilo více vidů dohromady a tedy by nebylo možné přenášené informace správně vyhodnotit. Z tohoto důvodu vidová disperze velmi ovlivňuje parametry trasy. Tento typ disperze je možné částečně odstranit pomocí použití gradientních vláken, případně úplně odstranit pomocí použití jednovidového vlákna, ve kterém se šíří v jeden časový okamžik pouze jeden vid.[1,3]

### 4.2 Chromatická disperze

U chromatické disperze hraje největší roli materiálová a vlnovodná disperze.

#### 4.2.1 Materiálová disperze

Jak je z názvu patrné, materiálová disperze je způsobena díky nedokonalosti materiálu, z něhož je vlákno vyrobeno. Index lomu materiálu je závislý na vlnové délce záření a v praxi tuto disperzi také ovlivňuje spektrální šířka zdroje. Obecně platí, že použití laserového zdroje způsobuje menší materiálovou disperzi než použití LED diody.[2]

#### 4.2.2 Vlnovodná disperze

Vlnovodná disperze je způsobena tím, že pulsy vysílané zdrojem optického záření se šíří i pláštěm. Plášť má rozdílný index lomu než jádro a z tohoto důvodu se pulsy šíří jinou rychlostí. Také je mnohem jednodušší vyvést pulsy z pláště do primární ochrany a ztratit tak část přenášené informace. Světlo, které se šíří v plášti je také citlivější na různé malé deformace vlákna či makro ohyby. Vlnovodná disperze se projevuje zejména u jednovidových vláken. U mnohovidových vláken se skokovou změnou indexu lomu se

vlnovodná disperze neprojevuje v takovém rozsahu, jelikož mnohovidová vlákna mají daleko větší průměr jádra než vlákna jednovidová.[2]

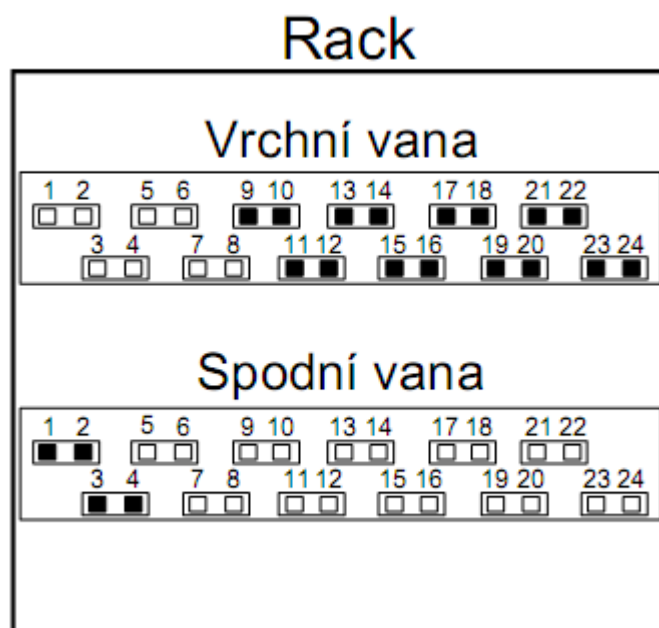
### **4.3 Polarizační módová disperze**

Ačkoliv se v jednovidovém vlákně šíří pouze jeden vid, jeho energie se rozkládá do dvou polarizačních stavů, které jsou na sebe kolmé. V ideálním kruhovém a ideálně podélně homogenním vlákně (nedochází k ohybům) putují tyto stavy stejnou rychlostí. V reálném vlákně však vždy existuje dvojlom, který je způsobený tím, že vlákno nemá ideálně kruhový tvar a není podélně homogenní. Vzhledem k tomu vzniká vlna, která se šíří jinou skupinovou rychlostí a tím vzniká polarizační módová disperze. [2,3]

Polarizační módová disperze je omezujícím faktorem především pro trasy, které mají přenosové rychlosti větší než 10Gb/s. Tato disperze se náhodně mění podél vlákna a z tohoto důvodu se počítá s její střední hodnotou.

## 5 Návrh a realizace jednotlivých tras

V této kapitole se zabývám návrhem a realizací jednotlivých tras, které jsou vybudovány v areálu VŠB v učebně Krp203. Vstupy a výstupy trasy, svary a spojky jsou uloženy ve skříni zvané jako rack. Schematické znázornění racku je možno vidět na obrázku číslo 16.



Obr. 16 Přední pohled racku

Rack se skládá ze dvou van (anglicky patchpanel), které jsou pro přehlednost nazvány vrchní a spodní vana. Každá vana obsahuje 24 konektorových spojek typu SC, které slouží k propojení vnitřní části vany s vnějším konektorem. Konektory vrchní vany jsou připojeny ke vstupu a výstupu jednotlivých tras. Aby tento návrh mohl fungovat, uvnitř vrchní vany jsou pigtaily, které jsem svařil s vlákny, jež vedou do spodní vany a ty jsou následně svařeny s různými trasami. Tyto trasy jsou určeny zejména pro studenty, jež si mohou trasy proměřit. Ve spodní vaně jsou v ní přilepeny kazety sloužící k uložení optických svarů všech tras, které jsem realizoval.

Všechny spojky, které vana obsahuje, jsou číslovány. Jak je vidět na obrázku číslo 16, některé spojky jsou vybarveny bíle a jiné černě. Pouze konektory, které jsou označeny černou barvou obsahují trasu, na niž mohou studenti měřit. Spojky znázorněné bílou barvou nejsou využity. Nutno podotknout, že ve vrchní vaně jsou všechny spojky využity, avšak od čísla 1 – 8 jsou tyto vlákna nataženy do spodní části racku a připravené

k dalšímu vybudování, kterým jsem se nezabýval. To znamená, že trasy, které jsem vybuvoval, jsou ve vrchní vaně v pořadí od 9 do 24.

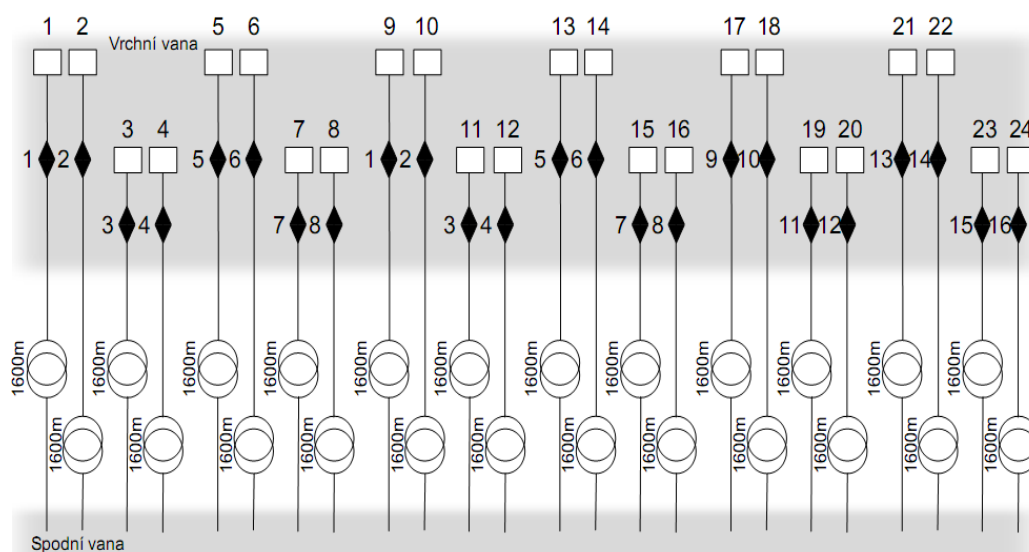
Postup svařování je v příloze v kapitole A a postup spojování vláken pomocí optických spojek je v příloze v kapitole B.

Kabel, ze kterého je trasa tvořena obsahuje vlákna Sasmsung G 652. D. Technické údaje o tomto kabelu jsou v příloze v kapitole K.

## 5.1 Vstupy a výstupy vrchní vany

Jak již bylo řečeno, vrchní vana obsahuje vstupy a výstupy jednotlivých tras.

Jednotlivé svary jsou uloženy v ochraně svaru a označené štítkem ve dvou kazetách připevněných na sebe, které jsou uloženy ve vrchní vaně, přičemž ve spodní kazetě je uložen svazek zelených a bílých vláken a ve vrchní kazetě je to svazek červený.



Obr. 17 Schematické znázornění vláken ve vrchní vaně

Dle obrázku číslo 17 je možné vidět jednotlivé konektory a svary, které jsou číslovány pro určitou přehlednost. Ve vrchní vaně jsou všechny vstupy/výstupy zapojeny stejně.

Na spojky, které propojují vnitřní a vnější část vany jsou z vnitřní strany nacvaknuty pigtaily, které vedou do kazety. Poté jsou svařeny s vláknem, které je dlouhé 1600 metrů a je vedeno do spodní vany.

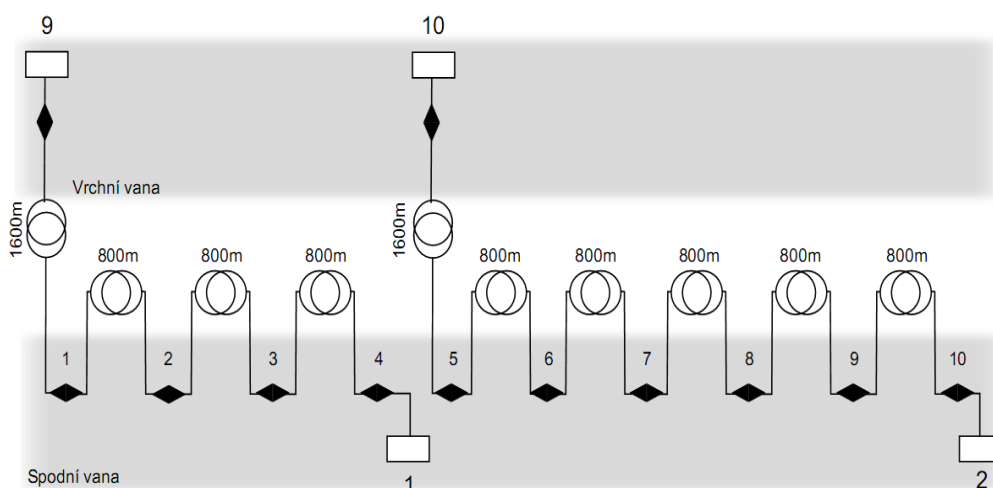
Veškeré tabulky útlumu jednotlivých svarů ve vrchní vaně vyhodnocené svářečkou jsou v příloze E.

## 5.2 Trasa 9 – 10

### Návrh trasy

Tato trasa je rozdělena do dvou úseků, které jsou zakončeny ve spodní vaně. Na konektory 1 a 2 ve spodní vaně lze jednoduše přidat další úsek, například mnohovidové vlákno či útlumový článek. Vzhledem k této skutečnosti je tato trasa velmi variabilní.

### Schéma trasy



Obr. 18 Schematické znázornění Trasy 9 – 10

### Popis trasy

Délka této trasy je celkově 9600 metrů. Veškeré spojování vláken proběhlo pomocí svařování a jednotlivé svary jsou uloženy v kazetě.

Jak je vidět na obrázku číslo 18, konektor pigtailu je uložen uvnitř vrchní vany a připojený na spojku číslo 9. Konec tohoto pigtailu je svařen s 1600 metrů dlouhým vláknem, které končí ve spodní vaně. Zde následují další tři svary, které spojují vlákna o délce 800 metrů. Poslední svar je navařen na další pigtail, který je zapojen ve spojce číslo 1 ve spodní vaně.

Obdobně je to u konektoru vrchní vany číslo 10 s tím rozdílem, že tato dílčí trasa obsahuje šest svarů a tedy je tento úsek delší.

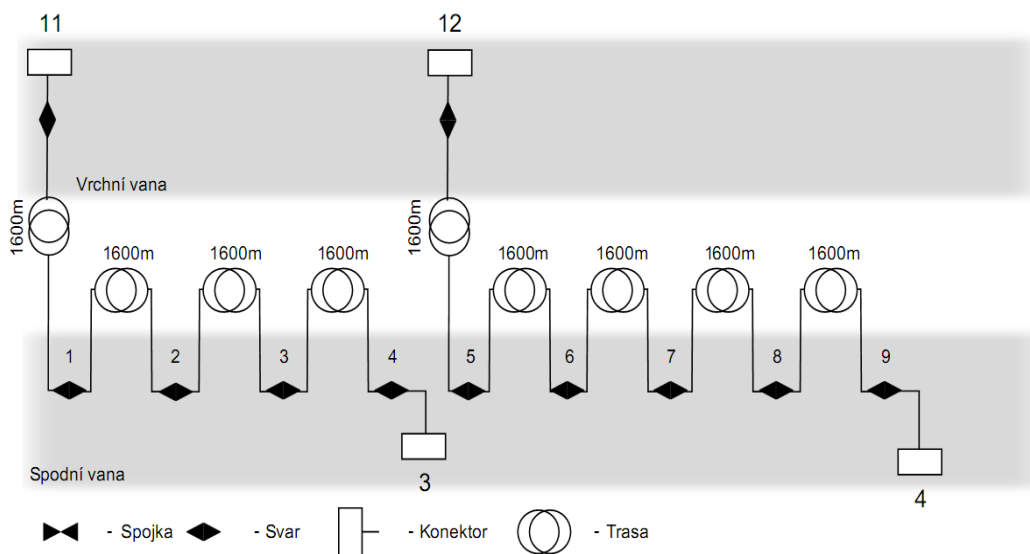
Útlumy jednotlivých svarů trasy 9 – 10 jsou v tabulce číslo 1 v příloze F.

### 5.3 Trasa 11 – 12

#### Návrh trasy

Tato trasa je opět rozdělena do dvou úseků, které jsou zakončeny ve spodní vaně. Díky tomu lze na konektory 1 a 2 ve spodní vaně jednoduše přidat další úsek. Příkladem může být mnohovidové vlákno či útlumový článek. Rozdíl oproti trase 9 – 10 je v celkové délce trasy.

#### Schéma trasy



Obr. 19 Schematické znázornění Trasy 11 – 12

#### Popis trasy

Délka této trasy je celkově 14400 metrů. Všechna propojení vláken proběhla pomocí svařování a jednotlivé svary jsou uloženy v kazetě.

Jak je vidět na obrázku číslo 19, konektor pigtailu je uložen uvnitř vrchní vany a je nacvaknutý na spojku číslo 9. Konec tohoto pigtailu je svařen s 1600 metrů dlouhým



vlákem, které končí ve spodní vaně. Zde následují další tři svary, které spojují vlákna o délce 1600 metrů. Poslední svar je navařen na další pigtail, který je zastrčen ve spojce číslo 3 ve spodní vaně.

Obdobně je to u konektoru vrchní vany číslo 12 s tím rozdílem, že tato dílčí trasa obsahuje pět svaru a proto je tento úsek delší.

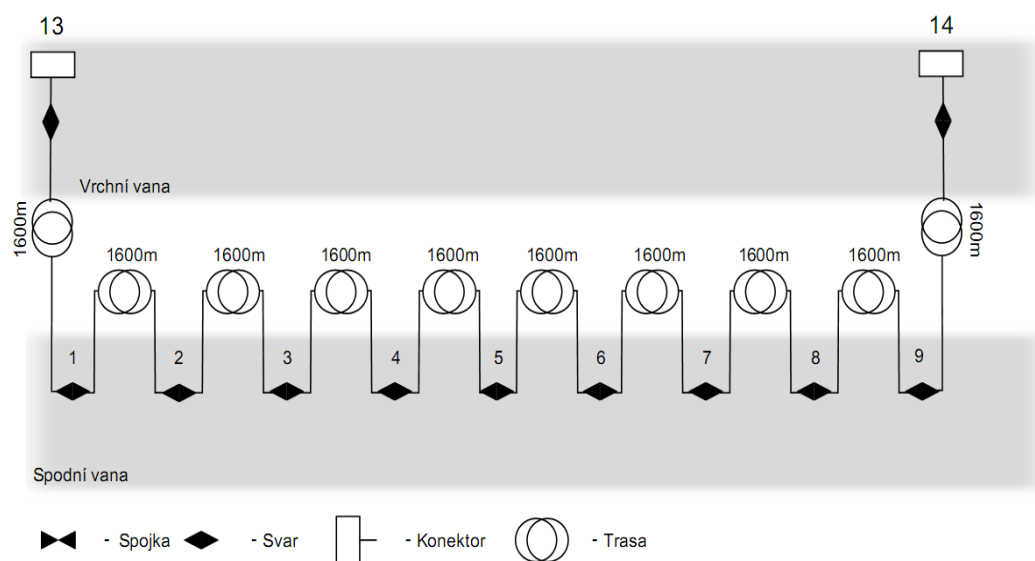
Útlumy jednotlivých svaru trasy 11 – 12 jsou v tabulce číslo 2 v příloze F

## 5.4 Trasa 13 – 14

### Návrh trasy

Tato trasa je navržena tak, aby simulovala reálné zapojení v praxi. To znamená, že trasa by měla mít vzhledem ke své délce co nejmenší útlum. Proto na trase není žádný defekt, který by tento útlum mohl způsobovat.

### Schéma trasy



Obr. 20 Schematické znázornění Trasy 13 – 14

### Popis trasy

Dle obrázku číslo 20 můžeme vidět, že celá tato trasa je tvořena vlákny se stejnou délkou 1600 metrů. Každé spojení vláken proběhlo pomocí svařování. Dva svary jsou uloženy v kazetě vrchní vany a devět svaru je uloženo v kazetě spodní vany.

Útlumy jednotlivých svaru trasy 13 – 14 jsou v tabulce číslo 3 v příloze F.

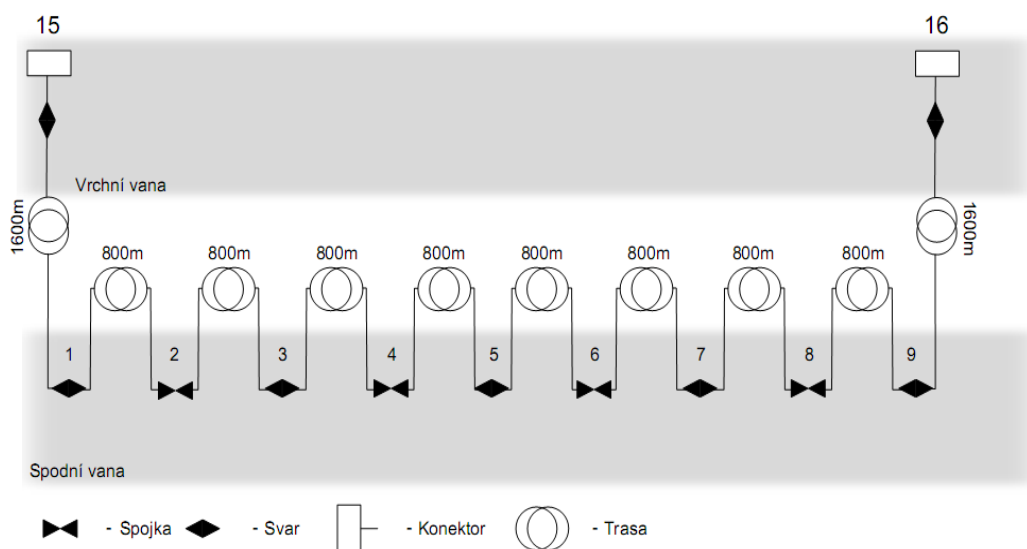
Ve svaru číslo 9 jsem započítal délku trasy, která vede zpět ke kazetě, která je uložena ve vrchní vaně, a proto je délka značena u svaru číslo 9 dvakrát delší.

## 5.5 Trasa 15 – 16

### Návrh trasy

Na této trase neprobíhá spojování vláken pouze pomocí svařování, ale také pomocí spojek, které výrazně zvyšují celkový útlum trasy. Ve spojce také dochází k Fresnelovu odrazu, který dokáže zobrazit a vyhodnotit OTDR zařízení.

### Schéma trasy



Obr. 21 Schematické znázornění Trasy 15 – 16

### Popis trasy

Dle obrázku je vidět, že trasa je tvořena vlákny o délce 800 metrů ve spodní vaně. Vlákna propojující spodní vanu s vrchní mají délku 1600 metrů. Optické spojky jsou v každém sudém spojení uloženy vedle kazety, která je uložena ve spodní vaně.

Útlumy jednotlivých svaru trasy 15 – 16 jsou v tabulce číslo 4 v příloze F.

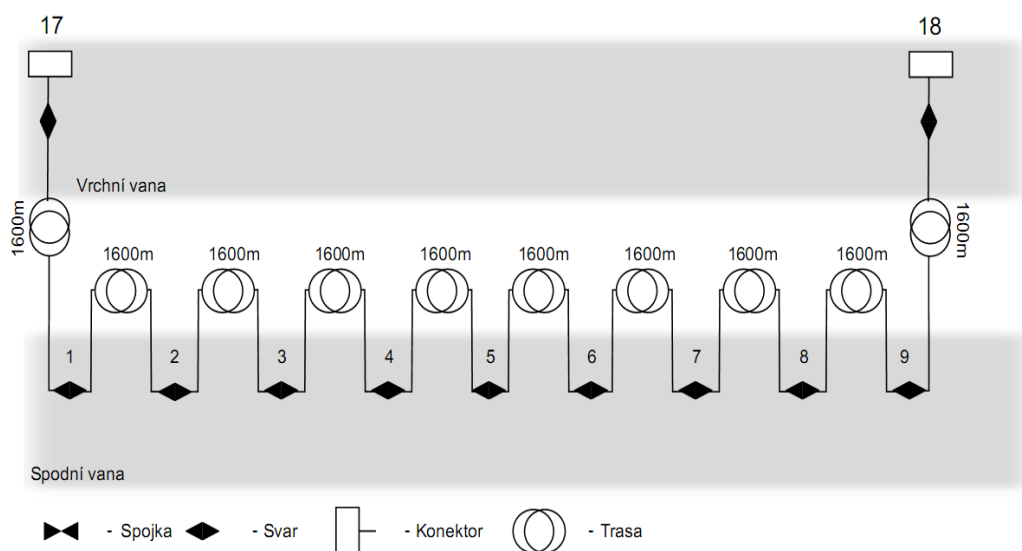
Ve svaru číslo 9 jsem započítal i délku trasy, která vede zpět ke kazetě, která je uložena ve vrchní vaně, a proto je délka trasy značena u svaru číslo 9 dvakrát delší.

## 5.6 Trasa 17 – 18

### Návrh trasy

Trasa, která je přivedena na konektory 17 – 18 a je celkem 16000 metrů dlouhá. Tato trasa se od ostatních liší tím, že svařování vláken proběhlo i v jiných režimech než pro jednovidová vlákna. Také tyto vlákna byla před svařením značně znečištěná, popřípadě zalomená pod velkým úhlem tak, aby svářečka nebyla schopna tyto vlákna svařit bez chyby svarů. Díky tomuto chybnému svařování by měl na trase vzniknout větší útlum.

### Schéma trasy



Obr. 22 Schematické znázornění Trasy 17 – 18

### Popis trasy

Z obrázku číslo 22 lze vidět vzdálenost mezi svary vláken, které činí 1600 metrů. Celkem trasa obsahuje jedenáct svarů. Dva svary jsou uloženy v kazetě, která se nachází ve vrchní vaně a zbytek svarů je uloženo v kazetě, která je přilepena na spodní vanu.

Svar 1 – 3 je navařen na trasu normálním programem pro jednovidová vlákna.

Svar 4 - 6 je navařen pro mnohovidová vlákna. Jak je vidět, podle odhadnutého útlumu v tabulce číslo 5 v příloze F, svářečka neklade tak striktní podmínky výpočtu jako u svarů pro jednovidová vlákna a z toho důvodu je odhadovaný útlum 0dB i když každý svar obsahoval miniaturní černou tečku v jádře.

Svar číslo 7 je svařen programem pro NZDS vlákna, což jsou vlákna, které nemají posunutou disperzní charakteristiku.

Svar 8 a 9 je svařen standardním programem pro jednovidová vlákna. Ve svaru číslo 8 se vyskytla chyba, jelikož v jádře vznikla malá nehomogenita. Svar číslo 9 má vyhodnocený větší útlum a to proto, že v místě svaru se na rozhraní jádro/plášť vyskytla tmavá nečistota vlivem špatného zalomení vláken.

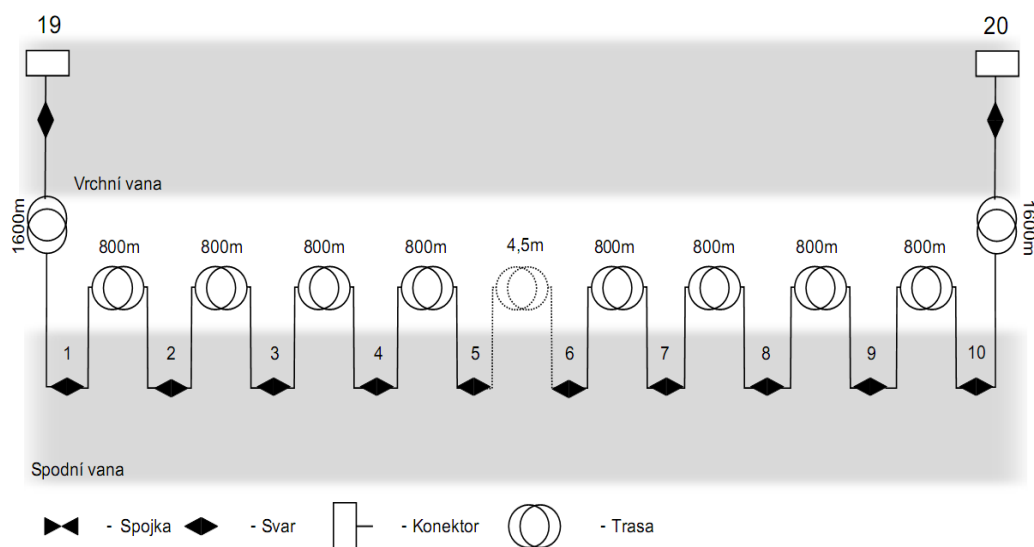
Útlumy jednotlivých svaru trasy 17 – 18 jsou v tabulce číslo 5 v příloze F .

## 5.7 Trasa 19 – 20

### Návrh trasy

Trasa 19 – 20 má dohromady 9605 metrů. V polovině této trasy je 4,5 metru dlouhé vlákno typu G 651 D navinuté padesátkrát na papírovou rolku, která má v průměru jeden centimetr. Tím dojde k makroohybu, který na trase způsobí větší útlum.

### Schéma trasy



Obr. 23 Schematické znázornění Trasy 19 – 20

### Popis trasy

Dle obrázku číslo 23 jde vidět, že vlákno propojující vrchní vanu se spodní má délku 1600 metrů. Vlákna, které jsou uložena ve spodní vaně, mají délku 800 metrů až na jednu výjimku, která je mezi svarem 5 a 6. Celkový počet svaru na této trase je tedy dvanáct.

Úsek mezi svarem 5 a 6 je tvořen ze 4,5 metrů dlouhého vlákna typu G 651 D navinutého 50 krát na papírovou rolku. Toto vlákno je svařeno mezi modrým a bílým vláknem, jak jde vidět z tabulky svaru trasy 19 – 20, která je uvedena v příloze tabulce číslo 6 v příloze F.

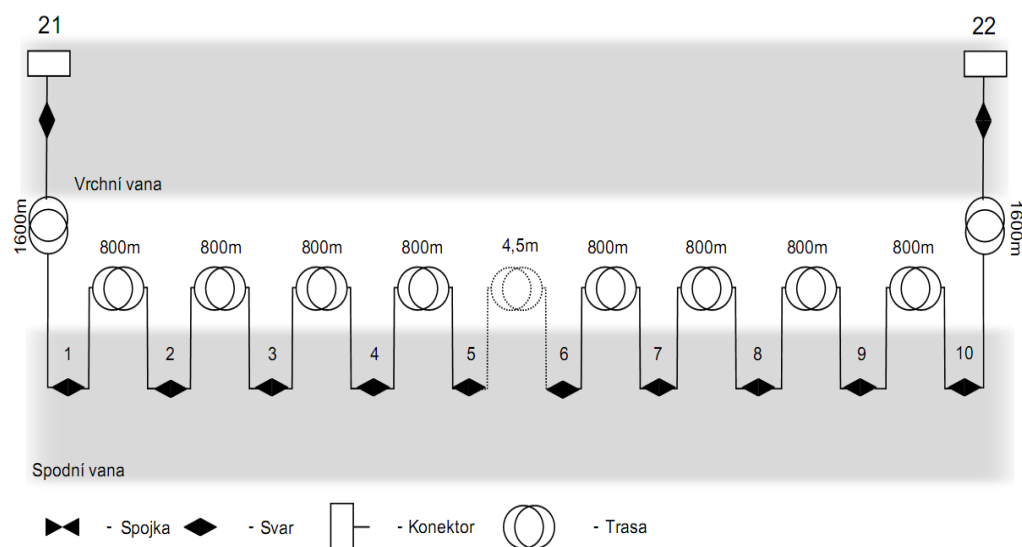
Parametry vlákna G651 D jsou uvedeny v příloze I.

## 5.8 Trasa 21 – 22

### Návrh trasy

Tato trasa je takřka identická, jako trasa 19 – 20 s tím rozdílem, že vlákno mezi svarem 5 a 6 je typu EZ-Bend 3.0, které má potlačený poloměr ohybu. Díky tomu může student porovnat hodnoty tras 19 – 20 a 21 – 22 a určit, jak jsou tyto vlákna odolné vůči makroohybům.

### Schéma trasy



Obr. 24 Schematické znázornění Trasy 21 – 22

### Popis trasy

Tato trasa je téměř identická s trasou 19 – 20. Jediné odlišnosti jsou v použitém typu vlákna mezi svarem 5 a 6 a ve vyhodnocení útlumu svaru svářečkou.

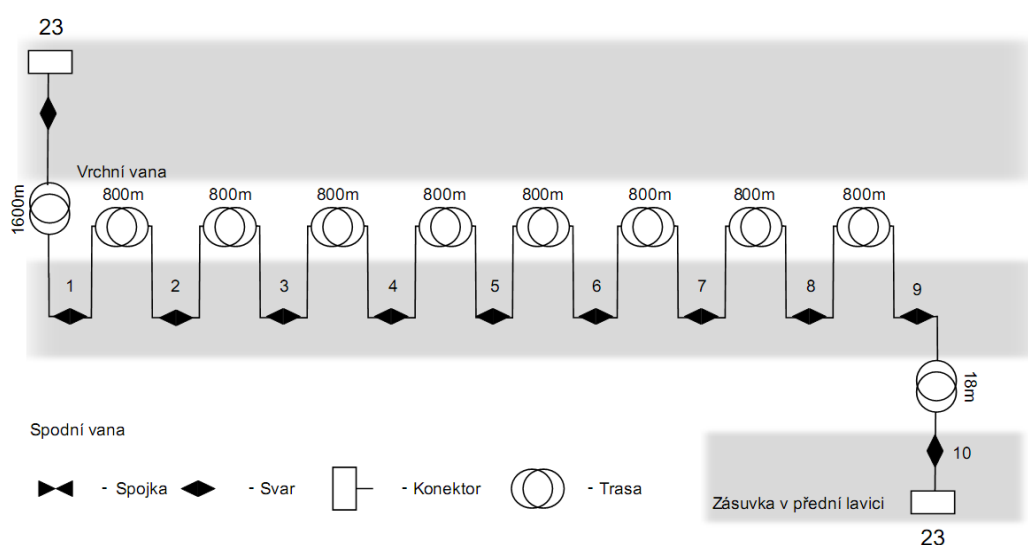
Útlumy jednotlivých svarů trasy 21 – 22 jsou v tabulce číslo 7 v příloze F

## 5.9 Trasa 23

### Návrh trasy

Pro tuto trasu je vyhrazen pouze jeden konektor ve vrchní vaně. To proto, že trasa 23 končí v přední lavici v místnosti Krp203. Tato trasa slouží především pro demonstraci této optické trasy studentům.

### Schéma trasy



Obr. 25 Schematické znázornění Trasy 23

### Popis trasy

Ze schématu lze vyčíst, že ve vrchní vaně má trasa pouze vstup/výstup pro jeden konektor. Vlákno, které vede z vrchní vany do spodní je o délce 1600 metrů. Následně je na spodní vanu přilepena kazeta, která obsahuje devět svaru, mezi kterými vedou vlákna dlouhá 800 metrů. Za devátým svarem vede další vlákno dlouhé osmnáct metrů, které je vedeno tunelem pod linoleem do přední lavice, kde je vyveden vstup/výstup této trasy.

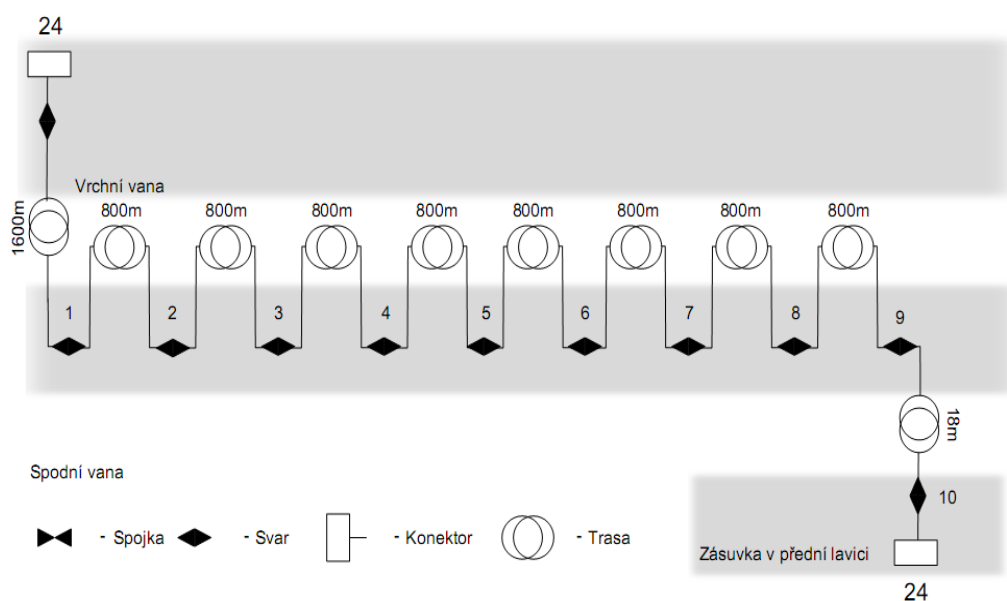
Útlumy jednotlivých svaru trasy 23 jsou v tabulce číslo 8 v příloze F.

## 5.10 Trasa 24

### Návrh trasy

Pro tuto trasu je ve vrchní vaně vyhrazen pouze jeden konektor. To proto, že trasa 24 končí v přední lavici v místnosti Krp203, stejně jako trasa 23. Díky tomu si vyučující může propojit tuto trasu s libovolnou další trasou v rozváděcí skříni a použít trasu 23 jako vstup/výstup a trasu 24 jako vstup/výstup.

### Schéma trasy



Obr. 26 Schematické znázornění Trasy 24

### Popis trasy

Schéma je identické jako na obrázku číslo 25. Jediná odlišnost je ve velikosti útlumu svaru.

Útlumy jednotlivých svaru trasy 24 jsou v tabulce číslo 9 v příloze F.

Protokol č.:	Datum:
Název:	<b>Porovnání makroohybů trasy 19 – 20 s trasou 21 – 22</b>
Vypracoval: Pavel Podstawka	
login: POD204	

## Zadání

Pomocí přímé a nepřímé metody změřte útlum na trase 19 – 20 a na trase 21 – 22. Tyto útlumy porovnejte, když je známo, že na obou trasách jsou ve vzdálenosti zhruba 5 km od začátku uměle vytvořeny stejné makroohyby.

Dále je známo, že na trase 19 – 20 jsou v úseku uměle vytvořené ohyby vlákna typu G652 D a na trase 21 – 22 je v tomto úseku použité vlákno typu EZ-Bend 3.0, které má potlačený poloměr ohybu.

Porovnejte tyto dvě vlákna a zjistěte, jaký vliv mají makroohyby na trase.

Při měření postupujte:

Měření přímou metodou zahrnuje tyto body:

1. Nakreslete schéma zapojení.
2. Pomocí metody vložných ztrát nejdříve naměřte referenční hodnotu A1, A2 nebo A3 dle pokynů cvičícího.
3. Po nastavení referenční hodnoty proměřte útlum obou tras z obou stran a výsledky zpracujte do tabulky.

Pro měření pomocí nepřímé metody musíte splnit tyto podmínky:

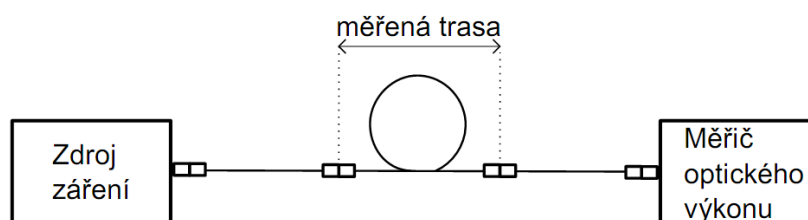
1. Nakreslete schéma zapojení.
2. Při zapojení použijte předřadné vlákno pro eliminaci mrtvé zóny.
3. Při měření tras použijte vlnové délky 1310 a 1550nm. Srovnajte výstupní grafy v závislosti na vlnové délce.



4. Vyhodnoťte výstupní OTDR graf, popište jednotlivé jevy, které se na trase vyskytly.
5. Dále přepněte na záložku měření a najed'te markerem A na začátek trasy a markerem B na konec trasy. Poté si запиšte hodnoty, spočtete útlum a určete vzdálenost celé trasy.
6. Výstupní soubor ukládejte ve formátu ascii.
7. Měření provádějte z obou stran u každé trasy. Celkově budou čtyři měření.

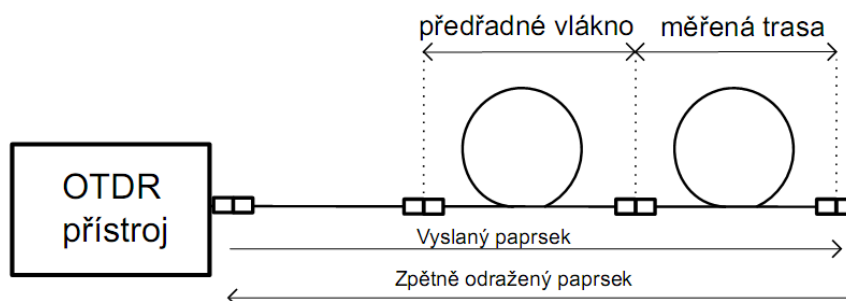
Následně porovnejte výsledky útlumu pomocí přímé a nepřímé metody.

#### Schéma měření přímé metody



Obr. 27 Schéma měření trasy pomocí přímé metody

#### Schéma měření nepřímé metody



Obr. 28 Schéma měření trasy pomocí nepřímé metody

#### Použité měřicí přístroje

- Reflektometr EXFO
- Vysílač a přijímač výkonové úrovně

### **Postup měření přímou metodou**

- Nejprve jsem propojil vysílač a přijímač optické úrovně s patchcoordem a spojkami tak, abych dosáhl referenčního měření A3.
- Poté jsem změřil referenční hodnotu.
- Následně jsem rozpojil referenční zapojení u prostředního patchcoordu.
- Následně jsem proměřil útlum trasy.
- Tentýž postup jsem opakoval dle zadání pro obě strany.
- Poté jsem začal měřit druhou trasu dle zadání.

### **Postup měření nepřímou metodou**

- Nejprve jsem propojil vstup trasy s předřadným vláknem a následně s reflektometrem.
- Poté jsem nastavil typ vlákna na singlemode (SM). Byly nastaveny vlnové délky na 1310nm a 1550nm. Dále jsem zvolil délku trasy dvacet kilometrů a šířku pulsu na tři metry. Měření probíhalo šedesát sekund.
- Následně jsem v záložce měření nastavil marker A na začátek trasy a marker B na konec trasy. Tyto hodnoty jsem si zaznamenal.
- Po zaznamenání hodnot jsem uložil výstupní OTDR soubor.
- Identický postup měření jsem prováděl i z druhé strany.
- Postup jsem opakoval také pro druhou trasu.

### **Grafický výstup OTDR přístroje**

Výstupní OTDR soubory vzorového protokolu jsou v příloze L.

### **Popis grafického výstupu z OTDR souboru**

#### **Trasa 19 – 20**

Na tomto výstupním grafu můžeme vidět dva Fresnelovy odrazy. Jeden je na začátku vedení a druhý na konci.

Kolem 4,5 km od konektoru číslo 19 jde vidět vyšší pokles výkonové úrovně, který může být způsoben špatným svarem vláken či bodovým tlakem na vlákne. Opravdu velký pokles úrovně je kolem 5,5 km, při vlnové délce 1310nm je útlum přibližně 4 dB a při vlnové délce 1550 nm je pokles výkonové úrovně tak velký, že OTDR měřič nebyl

schopen rozeznat odražený signál. Tento vysoký útlum je způsoben makroohybem vlákna.

### Trasa 21 – 22

Tato trasa také obsahuje dva konektory, které můžeme vidět v grafu, kde jsou vidět dva Fresnelovy odrazy. Tyto odrazy jsou na začátku a na konci vedení.

Ve vzdálenosti 5,5 km dané trasy jde vidět pokles úrovně. Tento pokles je způsoben makroohybem vlákna. Při vlnové délce 1310nm je tento pokles menší, než u vlnové délky 1550nm, kdy odhadovaný útlum je 2,8 dB.

### Výstupní tabulky přímé metody

Tabulka 1 výstupní hodnoty tras vyhodnocené pomocí přímé metody měření

Název trasy (vysílač)	Útlum [dB]	
	$\lambda = 1310\text{nm}$	$\lambda = 1550\text{nm}$
19	9,58	12,37
20	9,8	12,57
21	5,57	5,33
22	5,15	4,93

### Výstupní tabulka nepřímé metody

Tabulka 2 výstupní hodnoty trasy 19 - 20 vyhodnocené pomocí nepřímé metody měření

Marker	Vzdálenost[km]	Výkonová úroveň[dB]			
		Trasa 19		Trasa 20	
		$\lambda = 1310\text{ nm}$	$\lambda = 1550\text{ nm}$	$\lambda = 1310\text{ nm}$	$\lambda = 1550\text{ nm}$
A	0,6023	16,282	14,38	16,122	14,202
B	10,2118	8,097	0	6,344	0
		Útlum[dB]			
Výsledná hodnota	9,6095	8,185	14,38	9,778	14,202

Tabulka 3 Výstupní hodnoty trasy 21 - 22 vyhodnocené pomocí nepřímé metody měření

Marker	Vzdálenost[km]	Výkonová úroveň[dB]			
		Trasa 21		Trasa 22	
		$\lambda = 1310 \text{ nm}$	$\lambda = 1550 \text{ nm}$	$\lambda = 1310 \text{ nm}$	$\lambda = 1550 \text{ nm}$
A	0,5541	16,344	14,295	16,146	14,261
B	10,2069	11,805	9,671	11,323	9,855
		Útlum[dB]			
Výsledná hodnota	9,6528	4,539	4,624	4,823	4,406

## Závěr

V tomto měření jsem měl za úkol porovnat dvě trasy, které obsahují stejné makroohyby v úseku 5 km od začátku trasy.

Tyto dvě trasy se od sebe liší především jiným typem vlákna v tomto úseku.

Pro trasu 19 – 20 to bylo vlákno G652 D a pro trasu 21 – 22 EZ-Bend 3.0.

Jak jde vidět z výstupních grafů, vlákno typu G652 D je daleko citlivější na ohyby. Při vlnové délce 1310nm vykazovalo v místě ohybu velký útlum a při vlnové délce 1550 je tento útlum tak velký, že výkonová úroveň klesla na nulu.

Vlákno typu EZ-Bend 3.0 při použití vlnové délky 1310nm v místě ohybu vykazovalo pouze malý útlum. Při použití vlnové délky 1550nm je útlum v tomto úseku 2,8 dB.

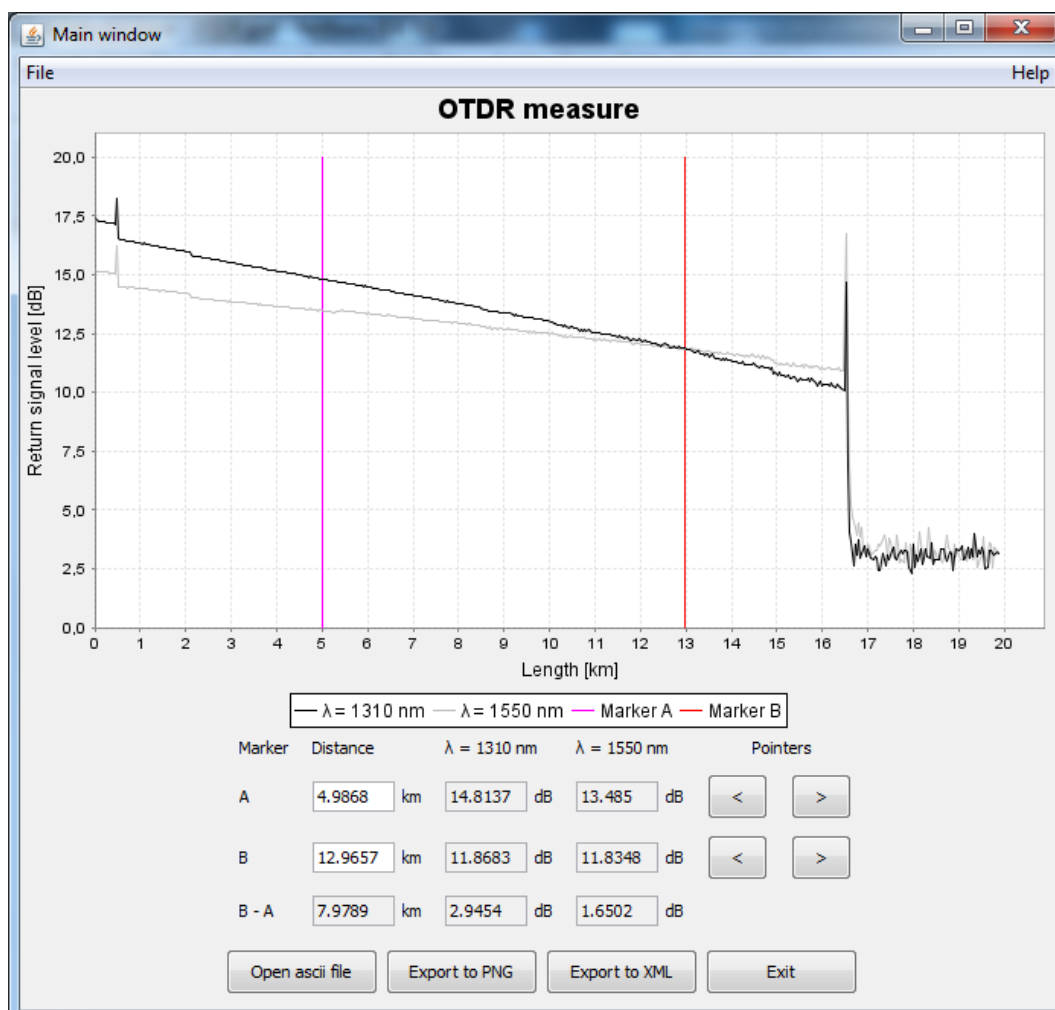
Z výstupních OTDR souborů lze vyzorovat, že útlum makroohybů závisí také na velikosti vlnové délky. Obecně platí, že čím je větší vlnová délka, tím je signál putující ve vlákne náchylnější na makroohyby.

## 6 Program sloužící pro otevírání souboru ve tvaru ascii pro reflektometr EXFO FTB-400

Tento program je psaný v programovacím jazyce Java. Jeho hlavní funkce jsou:

- Otevírání a zobrazení výstupních dat do grafu z přístroje reflektometru EXFO FTB-400 ve formátu ascii. Přípona těchto souborů je .asc.
- Přiblížení a oddálení grafu pro lepší přesnost měření.
- Vypočtení vzdálenosti a útlumu pomocí markerů, se kterými lze libovolně pohybovat po celé trase.
- Uložit zpracovaná data do souboru .xml.
- Uložit grafický výstup souboru ve formátu .png.

### 6.1 Grafické uživatelské rozhraní programu



Obr. 29 Grafické uživatelské rozhraní programu

Podle obrázku číslo 29, přístroj obsahuje dvě části. První část je samotný graf, který zobrazuje naměřená data z reflektometru. Graf lze libovolně přibližovat pomocí označení místa zleva doprava pomocí myši. Oddalování je možné pomocí stisknutí tlačítka a pohybu zprava doleva. Pravým kliknutím se zobrazí další možnosti, jako je uložit graf do souboru png, kopírovat graf, manipulace s osami X a Y a také nastavení barvy jednotlivých křivek.

Druhá část je rozdělena na sloupce, kde první sloupec obsahuje názvy markerů. Druhý sloupec umožňuje editovat vzdálenosti markerů až na poslední řádek, o kterém se zmíním později. Třetí sloupec obsahuje absolutní úroveň výkonu při první vlnové délce markeru podle toho, v jaké je vzdálenosti. Čtvrtý sloupec obsahuje také absolutní úroveň výkonu při druhé vlnové délce. Pátý sloupec se skládá ze čtyř tlačítek, které ovládají markery doprava či doleva.

Poslední řada textových polí označena B – A počítá vzdálenost mezi markery a útlum při první a druhé vlnové délce dle vztahu 3.3.

Při závěrečné kontrole jsem narazil na malou chybu programu. Aby bylo možné měřit obě vlnové délky najednou, musí mít jednotlivé křivky stejnou osu X. To ovšem neplatí, jelikož index lomu materiálu je závislý na vlnové délce světla a při vyšší vlnové délce se šíří i zpětně odražený signál rychleji. Tento rozdíl ale velmi malý, a proto je program pro měření vzorových tras plně dostačující.

## **7 Závěr**

Cílem bakalářské práce bylo seznámení se s optickými vlákny, návrh a vybudování jednotlivých tras pro měření přímou a nepřímou metodou.

V této bakalářské práci jsem vytvořil osm vzorových tras, které mají různou vzdálenost a útlumové charakteristiky. Tyto trasy jsou proměřeny a výsledky zpracovány do vzorových protokolů. Dalším úkolem bylo vytvořit program pro otevírání souboru z OTDR přístroje EXFO FTB-400 a následné vykreslení těchto hodnot do grafu. Také jsem zpracoval vzorové měření přímé i nepřímé metody, postup svařování optických vláken a postup spojování optických vláken pomocí spojek, které jsou obsaženy v příloze.

Využití bakalářské práce bude především pro výuku, jelikož si studenti mohou reálně proměřit vzorové trasy a určit jednotlivé prvky dané trasy podle charakteristiky výstupního souboru OTDR. I nadále budu pokračovat ve vývoji programu pro práci s výstupními daty z OTDR přístroje EXFO FTB-400.

## 8 Použité literární zdroje

- [1] DUBSKÝ, Pavel; KUCHARSKI, Maciej. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Novodvorská 994, 142 21 Praha 4 : Mikrokom, 1994. 133 s.
- [2] KUCHARSKI, Maciej. Měření optických vláken: sborník publikovaných článků. Praha : Mikrokom, 1997. 75 s.
- [3] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2011-01-02]. Dostupné z WWW: <<http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>.
- [4] LEPIL, Oldřich. Fyzika pro gymnázia: Optika. 3. přepracované vydání. Čestmírova 10, 140 00 Praha 4 : Prometheus, 2005. 205 s. ISBN 80-7196-237-6.
- [5] KOPEČNÝ, Jan. Základy fyziky: Modul 4 - Optika a atomové jádro [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2001 [cit. 2011-01-02]. Dostupné z WWW: <[www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Zaklady\\_fyziky/Modul4.pdf](http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Zaklady_fyziky/Modul4.pdf)>
- [6] MIROSLAV, Filka. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. první. Brno: Centa, spol. s r. o., 2009. 371 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [7] EZ-Bend 3.0 cable. [s.l.] : OFS, 2009. 2 s.
- [8] Allwave Fiber Zero Water Peak. [s.l.] : OFS, 2008. 2 s.
- [9] SPECIFICATION FOR SAMSUNG OPTICAL CABLE. [s.l.] : S.C. Kang, 7.4.2008. 6 s.



## Seznam obrázku

Obrázek 1 : Grafické znázornění vlnové délky .....	2
Obrázek 2 : Odraz a lom.....	5
Obrázek 3 : Lom ke kolmici.....	6
Obrázek 4 : Lom od kolmice.....	6
Obrázek 5 : Fresnelův odraz .....	7
Obrázek 6 : Numerická apertura.....	8
Obrázek 7 : Příklad putování signálu MMSI vláknem.....	11
Obrázek 8 : Příklad putování signálu v MMGI vlákně.....	12
Obrázek 9 : Příklad putování signálu v SMSI vlákně.....	13
Obrázek 10 : Měření metody dvou délek .....	15
Obrázek 11 : Měření trasy pomocí metody vložných ztrát.....	15
Obrázek 12 : Nastavení reference A1.....	16
Obrázek 13 : Nastavení reference A2.....	16
Obrázek 14 : Nastavení reference A3.....	16
Obrázek 15 : Popis grafického výstupu metody zpětného rozptylu.....	18
Obrázek 16 : Přední pohled racku.....	23
Obrázek 17 : Schematické znázornění vláken ve vrchní vaně.....	24
Obrázek 18 : Schematické znázornění Trasy 9 – 10.....	25
Obrázek 19 : Schematické znázornění Trasy 11 – 12.....	26
Obrázek 20 : Schematické znázornění Trasy 13 – 14.....	27
Obrázek 21 : Schematické znázornění Trasy 15 – 16.....	28
Obrázek 22 : Schematické znázornění Trasy 17 – 18.....	29

Obrázek 23 : Schematické znázornění Trasy 19 – 20.....	30
Obrázek 24 : Schematické znázornění Trasy 21 – 22.....	31
Obrázek 25 : Schematické znázornění Trasy 23.....	32
Obrázek 26 : Schematické znázornění Trasy 24.....	33
Obrázek 27 : Schéma měření trasy pomocí přímé metody .....	35
Obrázek 28 : Schéma měření trasy pomocí nepřímé metody.....	35
Obrázek 29 : Grafické uživatelské rozhraní programu.....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1 výstupní hodnoty tras vyhodnocené pomocí přímé metody měření.....	37
Tabulka 2 výstupní hodnoty trasy 19 - 20 vyhodnocené pomocí nepřímé metody měření.....	37
Tabulka 3 Výstupní hodnoty trasy 21 - 22 vyhodnocené pomocí nepřímé metody měření.....	38